

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ СОБЫТИЙ С УЧЕТОМ ПРИЧИННЫХ ФАКТОРОВ РИСКА

Анотація. Пропонується технологія прогнозування техногенної небезпеки. Критерієм небезпеки є ймовірність виникнення небажаних подій на об'єкті. Ймовірність може оцінюватися на довільному прогнозному інтервалі. У процесі оцінювання використовуються описи конкретних ситуацій, які виникають на об'єкті. Технологія включає методи логіко-ймовірності; моделі відмов; метод аналізу ієрархій. База знань, необхідна для прогнозування, містить експертні знання про вплив чинників небезпеки на виникнення небажаних подій; інтегральні функції розподілу ймовірності відмов. Застосування даної технології знижує трудомісткість створення бази знань, необхідної для прогнозування техногенної небезпеки.

Ключові слова: технологія прогнозування, моделі відмов, база знань, експертні оцінки, чинники ризику.

Аннотация. Предлагается технология прогнозирования техногенной опасности. Критерием опасности является вероятность возникновения нежелательных событий на объекте. Вероятность может оцениваться на произвольном прогнозном интервале. В процессе оценивания используются описания конкретных ситуаций, которые возникают на объекте. Технология включает логико-вероятностные методы; модели отказов; метод анализа иерархий. База знаний, необходимая для прогнозирования, содержит экспертные знания о влиянии факторов опасности на возникновение нежелательных событий; интегральные функции распределения вероятности отказов. Применение данной технологии снижает трудоемкость создания базы знаний, необходимой для прогнозирования техногенной опасности.

Ключевые слова: технология прогнозирования, модели отказов, база знаний, экспертные оценки, факторы риска.

Abstract. The technology of anthropogenic hazard prediction of is offered. The hazard criterion is probability of origin of undesirable occasions at an object. Probability can be estimated with regard to an arbitrary predictive interval. In the process of evaluation the descriptions of concrete situations which appear on an object are used. The technology includes: Logical-and-probabilistic methods; Failure models; Hierarchy Analysis Method. Knowledge base which is necessary for prediction contains: knowledge of experts about influence of hazard factors on the origin of undesirable occasions; integral functions of failure distribution. Application of this technology lowers labor intensiveness of knowledge base creation that is necessary for hazard prediction.

Keywords: prediction technology, failure models, knowledge base, expert estimations, hazard factors.

1. Введение

Настоящая работа посвящена актуальному направлению повышению техногенной безопасности: прогнозированию опасных техногенных событий по критерию вероятности их возникновения.

Целью работы является разработка гибридной технологии прогнозирования вероятности возникновения аварии на заданном прогнозном интервале. (Технология называется гибридной, если в ней для решения задачи используются аналитические методы и неформальные знания, полученные от экспертов). Исходя из цели, формулируется следующая постановка задачи.

Построить модель, которая позволяет после проведения контроля состояния объекта на момент τ_p оценивать вероятность возникновения аварии в интервале $(\tau_p, \tau_p + \Delta\tau)$, где $\Delta\tau$ – заданный период прогнозирования.

Дальнейшие рассуждения проводятся в предположении, что для любого момента времени однозначно определяется наработка (продолжительность или объем работы) оборудования. Тогда прогнозный интервал может быть интерпретирован как интервал наработки $(t_p, t_p + \Delta t)$, где t_p – наработка оборудования к моменту τ_p , Δt – приращение наработки за время $\Delta \tau$.

Техногенная авария, при всей кажущейся случайности возникновения, имеет предысторию, которая может быть описана совокупностью взаимосвязанных элементарных (базисных) событий. Базисные события (БС) представляют собой отказы оборудования, установленного на объекте (систем, узлов, устройств); ошибки персонала; события, причинами которых являются различные явления окружающей среды. Для формализации причинно-следственных связей между событиями, возникающими на разных стадиях развития аварии, используются логико-вероятностные методы моделирования: “Дерево отказов” (ДО) и “Дерево событий” (ДС) [1–3]. Данные модели позволяют оценивать вероятность возникновения аварии с помощью аналитической функции, в которой в качестве аргументов фигурируют вероятности БС.

Таким образом, задача прогнозирования аварии сводится к решению двух задач:

- формирование модели аварии в виде ДО и ДС;
- формирование модели БС, позволяющей вычислять оценки вероятностей БС на заданном прогнозном интервале $(t_p, t_p + \Delta t)$ в условиях конкретной ситуации, возникающей на объекте.

Решение первой задачи достаточно апробировано и не вызывает методических трудностей. Решение второй задачи (во всей полноте) до сих пор остается проблематичным. Кратко проблема оценивания вероятностей БС сводится к следующему.

Для создания модели БС необходимы знания об отказах, полученные на основе статистики и результатов испытаний оборудования [4–6]. Параметры модели, рассчитанные по этим данным, не учитывают специфики ситуаций, в которых данные получены. Прогнозные оценки могли бы быть значительно более точными и достоверными, если при формировании модели учитывались условия, в которых находится объект. Однако традиционное построение моделей, специфичных для различных возможных ситуаций, требует большого числа испытательных серий оборудования, что делает нереальным данный подход.

В настоящей работе предлагается гибридная технология решения задачи прогнозирования возникновения опасных техногенных событий, включающая логико-вероятностные методы; модели отказов; метод анализа иерархий, с помощью которого формализуются экспертные знания о влиянии причинных факторов техногенной опасности на возникновение БС.

2. Логическая основа прогнозирования вероятности базисных событий

Ситуация на объекте представляется в виде открытой совокупности значений полного набора независимых (по своему влиянию) факторов $X_j (j = \overline{1, k})$. Для каждого фактора предварительно определены его возможные значения $(x_{j,1}; x_{j,2}; \dots; x_{j,L_j})$, упорядоченные по степени влияния фактора на вероятность возникновения БС, причем первое значение $(x_{j,1})$ принято считать нормой фактора (x_j^N) [7].

Задача прогнозирования $BC_i (i = \overline{1, n})$, где n – количество БС в ДО) в общем виде может быть сформулирована следующим образом: “Какова вероятность возникновения BC_i в течение заданного прогнозного интервала $(t_p, t_p + \Delta t)$ на объекте, на котором

сложилась конкретная ситуация, описанная совокупностью значений причинных факторов опасности”.

Решение задачи состоит в:

а) построении интегральной функции распределения вероятностей наработки $(F_i^c(t))$ до возникновения BC_i в условиях заданной ситуации, описанной условием "С",

$$\text{"С": } X_1 = x_{1,l_1}, X_2 = x_{2,l_2}, \dots, X_k = x_{k,l_k}, \quad (1)$$

где $x_{j,l_j} (j = \overline{1,k})$ – одно из возможных значений фактора X_j ;

б) вычислении оценки вероятности BC_i на прогнозном интервале с помощью выражения [8]:

$$P_c(BC_i \setminus [t_p, t_p + \Delta t]) = (F_i^c(t_p + \Delta t) - F_i^c(t_p)) : (1 - F_i^c(t_p)), \quad (2)$$

где $P_c(BC_i \setminus [t_p, t_p + \Delta t])$ – вероятность BC_i на интервале $(t_p, t_p + \Delta t)$ при условии "С";

$F_i^c(t_p), F_i^c(t_p + \Delta t)$ – значения функции $F_i^c(t)$ для моментов, определяемых t_p и $t_p + \Delta t$.

Таким образом, проблема прогнозирования BC_i сводится к построению функции $F_i^c(t)$ для различных ситуаций, возможных на объекте.

Формирование функции $F_i^c(t)$ для одной ситуации является трудоемким процессом, т.к. включает в себя испытание оборудования, отказ которого приводит к BC_i [5]. Если учесть, что число возможных ситуаций (N_1) определяется выражением

$$N_1 = \prod_{j=1}^k L_j, \quad (3)$$

где L_j – число возможных значений причинного фактора опасности $X_j (j = \overline{1,k})$, то данный подход к решению проблемы прогнозирования становится не реальным даже для случаев небольшого числа причинных факторов. Очевидно, что необходимо конструктивно модифицировать этот процесс.

Представим функцию $F_i^c(t)$ как результат воздействия совокупности независимых факторов, влияние каждого из которых на BC_i описывается отдельной специфической функцией.

Определение. Функцией моновлиния $F_{i,j}^M(t, x_{j,l})$ фактора $X_j (j = \overline{1,k})$ (при $X_j = x_{j,l}$) на возникновение BC_i есть интегральная функция распределения вероятности наработки до возникновения BC_i при условии, когда фактор X_j принимает значение $x_{j,l}$, а остальные факторы равны своим нормальным значениям, т.е. при условии

$$\text{"М": } (X_j = x_{j,l}) \cap (\forall_{(q=\overline{1,k}, q \neq j)} X_q = x_q^N), \quad (4)$$

где x_q^N – нормальное значение фактора X_q .

Функции моновлиния факторов обладают тем свойством, что функция $F_i^c(t)$ может быть представлена в виде их суперпозиции.

Предположим, что ситуация на объекте описывается условием "С" (см. (1)) и для ситуационных значений x_{j,l_j} факторов X_j ($j = \overline{1, k}$) сформированы функции их моно-влияния на возникновение BC_i $F_{i,j}^M(t, x_{j,l_j})$ ($j = \overline{1, k}$). Тогда интегральная функция распределения наработки до BC_i может быть представлена выражением

$$F_i^c(t) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - F_{i,j}^M(t, x_{j,l_j})]. \quad (5)$$

Докажем справедливость выражения (5). Для этого достаточно показать, что для произвольной фиксированной точки $t_0 \in \{t\}$ (где $\{t\}$ – возможные значения наработки) справедливо выражение

$$P_i^c(t_0) = 1 - \prod_{j=1}^K [1 - P_{i,j}^M(t_0, x_{j,l_j})], \quad (5.1)$$

где $P_i^c(t_0)$ – вероятность BC_i до момента t_0 при условии (1);

$P_{i,j}^M(t_0, x_{j,l_j})$ – вероятность BC_i до момента t_0 при условии (4).

Рассмотрим K независимых событий, которые могут произойти до t_0 :
 a_1 : возникновение BC_i при условии

$$((X_1 = x_{1,l_1}) \cap (\forall_{q \neq 1} X_q = x_q^N)), \quad (5.2)$$

a_2 : возникновение BC_i при условии

$$((X_2 = x_{2,l_2}) \cap (\forall_{q \neq 2} X_q = x_q^N)), \quad (5.3)$$

a_k : возникновение BC_i при условии

$$((X_k = x_{k,l_k}) \cap (\forall_{q \neq k} X_q = x_q^N)). \quad (5.4)$$

Обозначим через "а" событие, возникшее в результате выполнения хотя бы одного a_j ($\overline{1, k}$), т.е.

$$a = \bigcup_{j=1}^k a_j. \quad (5.5)$$

Исходя из того, что a_j ($\overline{1, k}$) попарно независимы,

$$P(a) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - P(a_j)]. \quad (5.6)$$

Из определения событий a , a_j ($\overline{1, k}$) и описания условий "С"(1) и "М"(4) следует:

$$P(a) = P_i^c(t_0), \quad (5.7)$$

$$P(a_j) = P_{i,j}^M(t_0, x_{j,l_j}). \quad (5.8)$$

Из (5.6), (5.7), (5.8) следует справедливость выражения (5.1).

Таким образом, задача прогнозирования BC_i может быть сведена к построению функций моно-влияния. Для каждого фактора следует сформировать L_j функций моно-влияния, а для всех факторов общее их число равно

$$N_2 = \sum_{j=1}^K L_j. \quad (6)$$

Из сравнения (6) и (3) следует $N_2 \ll N_1$. Однако, несмотря на это, решение поставленной задачи по-прежнему остается проблематичным, поскольку требует многократного (N_2) применения моделей отказов и проведения испытаний оборудования.

Введем в рассмотрение понятие эталонного распределения.

Определение. Эталонная функция наработки до BC_i есть интегральная функция распределения вероятности наработки до BC_i в ситуации, когда все причинные факторы принимают значения своих норм, т.е. при условии, что

$$\forall_{(j=1, \overline{k})} X_j = x_j^N, \quad (7)$$

где $x_j^N = x_{j,1}$ – значение фактора X_j , соответствующее норме.

Свойства и взаимосвязь эталонной функции и функции моновлиния:

– функция моновлиния фактора X_j является монотонной относительно упорядоченных значений фактора, т.е.

$$F_{i,j}^M(t, x_{j,q}) \leq F_{i,j}^M(t, x_{j,l}) \text{ при } q \leq l; \quad (7.1)$$

– значения эталонной функции не превосходят соответствующих (по t) значений функции моновлиния для всех $l \in \overline{1, L_j}$, т.е.

$$F_{i,j}^M(t, x_{j,l}) \geq F_i^N(t); \quad (7.2)$$

– значения функций моновлиния всех факторов при $l=1$ совпадают с соответствующими (по t) значениями эталонной функции, т.е.

$$F_{i,j}^M(t, x_{j,1}) = F_i^N(t); \quad (7.3)$$

– функция моновлиния фактора X_j (при $X_j = x_{j,l}$) характеризует увеличение вероятности BC_i (относительно значения эталонной функции), которое возникло вследствие отклонения фактора $X_{j,l}$ от нормы на величину $|x_{j,l} - x_j^N|$. Это увеличение пропорционально степени влияния фактора X_j , когда $X_j = x_{j,l}$, т.е.

$$F_{i,j}^M(t, x_{j,l}) = F_i^N(t) * \eta_{i,j}(x_{j,l}), \quad (8)$$

где $\eta_{i,j}(x_{j,l})$ – характеристика степени влияния фактора X_j на эталонную функцию распределения вероятности наработки до BC_i , когда $X_j = x_{j,l}$, которую мы назовем ”ситуационной поправкой”.

Вывод: проблема прогнозирования вероятности возникновения БС сводится к построению эталонных функций распределения вероятностей БС и формированию ситуационных поправок к ним. Первая составляющая создается методами теории отказов на основе данных статистики и результатов испытаний оборудования, а вторая – на основе экспертных оценок с применением метода анализа иерархий.

В технологии процесса прогнозирования можно выделить две компоненты:

- предварительное формирование базы знаний, необходимой для решения задачи прогнозирования аварий и ЧП;
- собственно прогнозирование, включающее расчеты вероятностей БС, вероятностей аварий и оценку степени техногенной опасности контролируемой ситуации.

3. Формирование базы знаний, необходимой для решения задачи прогнозирования техногенных аварий

3.1. Содержательными элементами БЗ являются:

- формализованное представление аварии в виде ДО и ДС;
- описание факторов, влияющих на возникновение БС;
- характеристики степени влияния отдельных значений причинных факторов на БС (ситуационные поправки);
- “эталонные” функции распределения наработок до возникновения БС.

3.2. Технология формирования БЗ

3.2.1. Технология формализованного описания аварий в виде модели ДО достаточно подробно представлена в [2, 3]. Результатом является перечень БЗ, которые включены в модель ДО, и описание логических связей между элементами ДО в виде дизъюнктивно-нормальной формы:

$$A = \bigcup_{g \in G} S_g, \quad (9)$$

$$S_g = \bigcap_{m_g \in M_g} BC_{m_g}, \quad (10)$$

где A – авария (верхнее событие ДО);

S_g – минимальное сечение базисных событий (комбинация наименьшего числа БС, достаточных для возникновения аварии);

M_g – множество индексов БС, входящих в сечение S_g .

3.2.2. Описание качественных и количественных причинных факторов опасности. (Выполняется экспертом в заданной области техногенной безопасности).

Качественный фактор $X_j (j = \overline{1, k})$ описан упорядоченной совокупностью возможных дискретных значений:

$$(x_{j,1}, x_{j,2}, \dots, x_{j,L_j}), \quad (11)$$

первое из которых принимается равным норме

$$x_{j,1} = x_j^N. \quad (12)$$

Количественный фактор описан интервалом значений непрерывной величины, разделенной на сегменты, в пределах которых влияние фактора может считаться постоянным:

$$[\bar{x}_{j,0}, \bar{x}_{j,1}], [\bar{x}_{j,1}, \bar{x}_{j,2}], \dots, [\bar{x}_{j,L_j-1}, \bar{x}_{j,L_j}], \quad (13)$$

где $x_{j,0}$ и x_{j,L_j} – левая и правая границы интервала возможных значений фактора X_j соответственно;

L_j – количество сегментов.

Дополнительно к описанию (13) для количественного фактора в БЗ формируется представление, аналогичное (11):

$$(\tilde{x}_{j,1}, \tilde{x}_{j,2}, \dots, \tilde{x}_{j,L_j}), \quad (14)$$

где

$$\tilde{x}_{j,l} = \frac{1}{2}(\bar{x}_{j,l} - \bar{x}_{j,l-1}) + \bar{x}_{j,l-1} \quad (l = \overline{1, L_j}). \quad (15)$$

В дальнейшем это позволит использовать описание (11) как универсальное представление качественных и количественных факторов [7].

3.2.3. Формирование характеристик степени влияния отдельных значений причинных факторов на БС. Данная функция выполняется процедурой, включающей в себя экспертные оценки и Метод анализа иерархий (МАИ) [9], подробное описание которой изложено в [10].

В сокращенном виде указанная процедура сводится к следующему:

а) эксперт выполняет попарные сравнения значений фактора X_j по критерию степени его влияния на вероятность BC_i , заполняя при этом матрицу парных сравнений (МПС) по правилам МАИ. Полученная МПС обладает тем свойством, что ее собственные значения характеризуют приоритетность сравниваемых значений фактора X_j ;

б) вычисление вектора собственных значений МПС по стандартному программному обеспечению линейной алгебры. Результат обозначим:

$$(\eta_{i,j}^*(x_{j,1}), \eta_{i,j}^*(x_{j,2}), \dots, \eta_{i,j}^*(x_{j,L_j})), \quad (16)$$

где L_j – количество возможных значений X_j ;

в) нормирование вектора (16). В результате будут получены искомые характеристики степени влияния значений фактора X_j на BC_i :

$$\bar{\eta}_{i,j} = (\eta_{i,j}(x_{j,1}), \dots, \eta_{i,j}(x_{j,L_j})), \quad (17)$$

где

$$\eta_{i,j}(x_{j,l}) = \eta_{i,j}^*(x_{j,l}) : \eta_{i,j}^*(x_{j,1}) \quad (l = \overline{1, L_j}). \quad (18)$$

Шаги «а», «б», «в» выполняются для всех факторов $X_j (j = \overline{1, k})$, в результате чего для каждого BC_i будет сформировано K векторов типа (17), а для всех $BC_i (i = \overline{1, n})$ будет сформировано $K \times n$ подобных векторов.

3.2.4. Формирование «эталонной» функции распределения наработки до возникновения BC_i . (Напомним, что под BC_i понимается отказ конкретной единицы оборудования на объекте).

Данная процедура состоит из следующих шагов:

а) выбор теоретического типа распределения отказов оборудования, соответствующего BC_i [6];

б) постановка группы однотипных изделий на испытания и фиксация результатов испытаний. (Под изделиями подразумевается то оборудование объекта, отказы которого представляют собой БС). При испытаниях фиксируются моменты отказов изделий, наработки до отказов, значения определяющих параметров (параметров, характеризующих состояние изделий). Испытания проводятся в условиях (7).

Замечание. При наличии статистических данных об отказах оборудования указанного типа, полученных в результате мониторинга эксплуатации объекта в “эталонных” условиях (7), эти данные также могут быть использованы для определения параметров эталонного распределения [4];

в) определение параметров выбранного распределения на основе результатов испытаний. Вычисление параметра масштаба и параметра формы распределения можно выполнить на основе данных о наработках до отказа и об изменениях определяющего параметра. В первом случае можно использовать методы максимального правдоподобия, моментных оценок и квантилей [6]. Во втором случае используется вероятностно-физический подход, позволяющий оценить скорость деградации определяющего параметра и коэффициент вариации процесса деградации [4].

В результате будет получено формализованное представление эталонной функции распределения наработки до отказа, которую обозначим

$$F_i^N(t) = Z_i^N(t, \mu, \nu), \quad (19)$$

где Z_i – вид эталонной функции распределения наработки до BC_i ;

μ, ν – оценки параметров масштаба и формы;

t – наработка до отказа.

Выражение (19) позволяет вычислить вероятность возникновения BC_i в эталонных условиях до момента, обусловленного заданной наработкой t .

4. Процедура прогнозирования техногенной опасности контролируемой ситуации

В прогнозировании техногенной опасности выделены следующие этапы:

– вычисление вероятностей BC_i ($i = \overline{1, n}$), входящих в модель дерева отказов аварии;

– вычисление вероятности аварии;

– оценка степени опасности.

Входными данными процедуры прогнозирования являются:

- предварительно сформированная БЗ (разд. 3);
- описание ситуации на объекте

$$X_1 = R_1; X_2 = R_2; \dots; X_k = R_k, \quad (20)$$

где R_j ($j = \overline{1, k}$) – ситуационные значения причинных факторов опасности X_j к началу прогнозного интервала t_p , определяемые по результатам мониторинга;

- прогнозный интервал $(t_p, t_p + \Delta t)$, задаваемый пользователем.

Результатом процедуры является оценка техногенной опасности объекта по критерию вероятности возникновения аварии в прогнозируемый период.

4.1. Этап вычисления вероятностей BC_i ($i = \overline{1, n}$)

4.1.1. Выбор из БЗ сведений, относящихся к BC_i :

– описание эталонной функции распределения вероятностей наработок до BC_i (тип распределения, параметры масштаба и формы, программная процедура расчета $F_i(t)$);

– описание характеристик степени влияния K факторов опасности на BC_i в виде векторов:

$$\bar{\eta}_{i,j} = (\eta_{i,j}(x_{j,1}), \eta_{i,j}(x_{j,2}), \dots, \eta_{i,j}(x_{j,L_j})), \quad (21)$$

где L_j – количество возможных значений фактора X_j ($j = \overline{1, k}$).

4.1.2. Вычисление значений эталонной функции для границ прогнозного интервала t_p и $t_p + \Delta t$ согласно выражению (19).

Результат: $F_i^N(t_p)$ и $F_i^N(t_p + \Delta t)$.

4.1.3. Выбор из каждого вектора $\bar{\eta}_{i,j}$ ($j = \overline{1, k}$) элемента $\eta_{i,j}(x_{j,l_j})$ $l_j \in \overline{(1, L_j)}$, удовлетворяющего условию

$$x_{j,l_j} = R_j. \quad (22)$$

Результат: $\eta_{i,1}(x_{1,l_1}), \eta_{i,2}(x_{2,l_2}), \dots, \eta_{i,k}(x_{k,l_k})$. (23)

4.1.4. Вычисление значений функций моновливания факторов X_j ($j = \overline{1, k}$) на BC_i для границ прогнозного интервала в ситуации, описанной (20) (используются выражение (8) и результат п. 4.1.3),

$$F_{i,j}^M(t_p, x_{j,l_j}) = F_i^N(t_p) \times \eta_{i,j}(x_{j,l_j}) \quad (j = \overline{1, k}). \quad (24)$$

$$F_{i,j}^M(t_p + \Delta t, x_{j,l_j}) = F_i^N(t_p + \Delta t) \times \eta_{i,j}(x_{j,l_j}). \quad (25)$$

4.1.5. Вычисление значений функции агрегированного влияния факторов опасности ($F_i^c(t)$) для границ прогнозного интервала в ситуации (20) (используются выражение (5) и результат п.4.1.4).

$$F_i^c(t_p) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - F_{ij}^M(t_p, x_{j,l_j})]. \quad (26)$$

$$F_i^c(t_p + \Delta t) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - F_{ij}^M(t_p + \Delta t, x_{j,l_j})]. \quad (27)$$

4.1.6. Вычисление вероятности BC_i в ситуации (20) (используются выражение (2) и результат п.4.1.5).

$$P_c(BC_i \setminus (t_p, t_{p+\Delta t})) = \frac{F_i^c(t_p + \Delta t) - F_i^c(t_p)}{1 - F_i^c(t_p)}. \quad (28)$$

4.2. Этап вычисления вероятности аварии А на прогножном интервале $(t_p, t_p + \Delta t)$ (используются результат этапа 4.1 и дизъюнктивно-нормальная форма (ДНФ) дерева отказов (9), (10))

4.2.1. Вычисление вероятностей сечений ДНФ ДО в ситуации (20):

$$P(S_g) = \prod_{m_g \in M_g} P_c(BC_{m_g} \setminus (t_p, t_p + \Delta t)), \quad (29)$$

где M_g – множество индексов БС, входящих в сечение S_g .

4.2.2. Вычисление вероятности аварии в ситуации (20) на прогнозном интервале $(t_p, t_p + \Delta t)$:

$$P_c(A \setminus (t_p, t_p + \Delta t)) = \sum_{g \in G} P(S_g), \quad (30)$$

где G – множество индексов сечений ДНФ дерева отказов.

4.3. Оценка степени опасности в ситуации (20)

Цель данной процедуры – предоставить возможность некомпетентному пользователю интерпретировать вычисленные в п.4.2 значения вероятности аварии в форме вербальных качественных оценок, а также по n -балльной шкале.

Описание этой процедуры выходит за рамки настоящей работы.

5. Заключение

Предлагается технология прогнозирования вероятности возникновения опасных техногенных событий на произвольном прогнозном интервале с учетом конкретной ситуации, сложившейся на контролируемом объекте к началу прогнозного интервала.

В основе технологии лежат следующие положения:

– описание ситуаций на объекте представляется совокупностью значений независимых факторов, обуславливающих возникновение элементарных нежелательных («базисных») событий, приводящих к авариям;

– функции распределения вероятностей базисных событий (БС), являющихся отказами различных единиц оборудования, представляются в виде суперпозиции аналитических функций сепаратного влияния причинных факторов риска (функций «моновлияния»);

– вычисление значений функций моновлияния выполняется в процессе прогнозирования на основании описания ситуаций и содержания базы знаний;

– содержание базы знаний формируется на основе:

- экспертных оценок (описания деревьев отказов, базисных событий, факторов опасности, характеристик степени влияния возможных значений причинных факторов на возникновение БС);

- моделей отказов и испытаний оборудования (эталонные распределения вероятностей наработки для каждого базисного события).

Предлагаемая технология переносит центр тяжести подготовки БЗ, используемой для решения задачи прогнозирования, на экспертные оценки. При этом значительно снижается объем необходимых испытаний оборудования. В результате сокращается общая трудоемкость подготовки БЗ и прогнозирование опасных событий становится реалистичным для всего спектра ситуаций, возможных на контролируемом объекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51901.13-2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей (IEC 61025:1990, Fault Tree Analysis). – Введ. 31.05.2005. – М.: Стандартинформ, 2005. – 16 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
2. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ) / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко [и др.]. – К.: НТУУ «КПИ», 2000. – 568 с.
3. Серебровский А.Н. Алгоритм формирования и минимизация логического представления дерева отказов / А.Н. Серебровский, Л.П. Ситниченко, В.Г. Пилипенко // Математичні машини і системи. – 2009. – № 1. – С. 165 – 172.
4. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.

5. Серебровский А.Н. Об использовании вероятностно-физических моделей отказов для оценки вероятностей элементарных событий, порождающих техногенную опасность / А.Н. Серебровский, В.П. Стрельников // Математичні машини і системи. – 2007. – № 1. – С. 137 – 143.
6. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 05.12.1997. – К.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 45 с. – (Межгосударственный стандарт).
7. Серебровский А.Н. Анализ подходов оценивания вероятностей базисных событий техногенной опасности / А.Н. Серебровский // Математичні машини і системи. – 2008. – № 2. – С. 122 – 127.
8. Серебровский А.Н. Методы оценки вероятностей отказов в процессах прогнозирования техногенных чрезвычайных происшествий / А.Н. Серебровский // Математичні машини і системи. – 2007. – № 2. – С. 111 – 116.
9. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т.Л. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
10. Серебровский А.Н. Метод анализа иерархий при создании базы знаний экспертных систем техногенной опасности / А.Н. Серебровский // Математичні машини і системи. – 2008. – № 3. – С. 62 – 67.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2011